

# 長期間にわたる P B L 教育の実践とその効果の検証

亀山 建太郎\* 井上 清一\*\* 金田 直人\* 孝久 和郎\*\*\* 吉田 敏實\*\*\*  
藤沢 秀雄\*\*\* 木村 操\*\*\* 水島 宏和\*\*\* 北川 浩和\*\*\*

## Practice of Project Based Learning Subject for A Long Term and Verification of Its Effects

Kentaro KAMEYAMA, Seiichi INOUE, Naoto KANEDA, Toshimi YOSHIDA, Kazuro TAKAHISA,  
Hideo FUJISAWA, Misao KIMURA, Hirokazu MIZUSHIMA and Hirokazu KITAGAWA

Recently, an education method called Problem/Project Based Learning has attracted much attention. This education program based on learners' experiences was developed in McMaster University (Canada) for education in the faculty of medicine in 1969, and a lot of higher education facilities have introduced this method in various fields because of its usefulness. In Fukui National College of Technology, a PBL style class "experience program for creative engineering" that students manufacture robots that solve given game problem has been introduced. This class was introduced in 1992 and has been done 17 times by 2008. So, this affects not only the students but also curriculum ideas in the department of mechanical engineering. However, any systematic evaluation for this class have not been done till the present. Therefore, the authors study this class from the viewpoint of the questionnaire results and affect to curriculums.

### 1. はじめに

近年 Problem/Project Based Learning (PBL) という形式の実習科目が注目を集めている。PBL は 1969 年にカナダの McMaster 大学が創設と同時に開始した「提示された事例を元に学習する教育方法」で、元来は医学教育に対して開発されたプログラムであり<sup>1)</sup>、開始初期にはオーストラリアの Newcastle 大学 (1978)、アメリカの Harvard 大学 (1985) が、日本では東京女子医大が「チュートリアル方式」として 1990 年より導入するなど、主に大学医学部の教育課程に導入されていた。

一方、工学分野では、デンマークのオルボー大学が 1974 年の創立時より、従来の学科の縦の構造と複合領域を担う横の構造を有する「The Aalborg Model」を構築して、PBL を理系カリキュラムに体系的に組み込むという試みを実施しており<sup>2)</sup>、20 年以上に渡る教育効果が実社

会でも評価され、成果が上がっているという報告がなされている<sup>3)</sup>。そのような科目としては、本学の機械工学科では創造工学演習という授業を 1992 年より始め、本年までに 17 回の実施を経ている。本科目は、ロボットを製作し、その出来栄を大会により評価するという形式の実習授業であり、実施のきっかけは、著者らの一人が 1988 年 3 月に NHK で放映されたマサチューセッツ工科大学の授業に触発されたからということであるから、その頃には既に各学校でいくつかの試みが行われていたことが伺える。しかしながら、ロボット・ロボコンというキーワードで当時の時代背景を鑑みると、日本で一番古くから行われているロボット大会のひとつであるマイクロマウス大会は 1980 年に第一回が実施され、2009 年現在で 30 回目の開催を迎えていること、ロボットコンテストの代名詞となっている高専ロボコンは 1988 年に第 1 回大会が開催され、今年で 22 周年を迎えるということや、ロボットがメディアに

\* 機械工学科    \*\* 福井工業高等専門学校名誉教授    \*\*\* 教育研究支援センター

大きく取り上げられ、一般的に認知されるきっかけとなった HONDA の人型ロボット P2 の発表が 1996 年、SONY の AIBO の発売は 1999 年であり、本科目が「ロボット」「ロボコン」などが広く認知される以前から実施されていたという点から考えれば、本科目の実施は先駆的な試みであった事が伺える。

以上のように、創造工学演習の導入は先駆的な試みであったといえるが、それが機械工学科の教育においてどのような役割を果たしてきたかについては、体系だった考察は行われてこなかった。そこで、本報では立ち上げから 17 年の年月を経た創造工学演習自体と、本科目から派生してきた授業について、授業の評価および本学科カリキュラムへの影響の点から考察する。

## 2. 演習内容

### 2.1 演習の概要

創造工学演習は、機械工学科 3 年生の後期に実施しており、半期 15 回・1 回 150 分の実習時間内で提示したルールに沿った競技ロボットを製作し、大会によりその出来栄を評価するという授業である。本授業は 2008 年度までに 17 回の実施実績を持つ科目である。そのルールは毎年変更されるが、基本的な構成は一貫したものとなっている。過去 17 年分のテーマ名と概要を表 1 に示し、2002 年度の競技場（図 1）と競技ルールを例にとり、その概要を説明する。

#### 競技と競技場

競技場には 100 個のピンポン球が置かれている。半分の 50 個は自分の陣地に、そして他の 50 個は敵の陣地に置かれている。あなたが創るロボットで、自分の陣地のピンポン球を敵の陣地へ送り込んでほしい。自分の陣地のピンポン球が全て無くなったら勝ちである。

3 分間で、できるだけ自陣のピンポン球を減らして欲しい。あなたの身辺をすっきりして欲しい。自陣のピンポン球を競技場の外へ捨ててはいけない。

競技場は図の正面図に示すように斜面で構成されている。また、中央部には車両の動きを抑制する杭が立てられている。もちろんこの杭を巧みにくぐり抜けて敵陣へ攻め

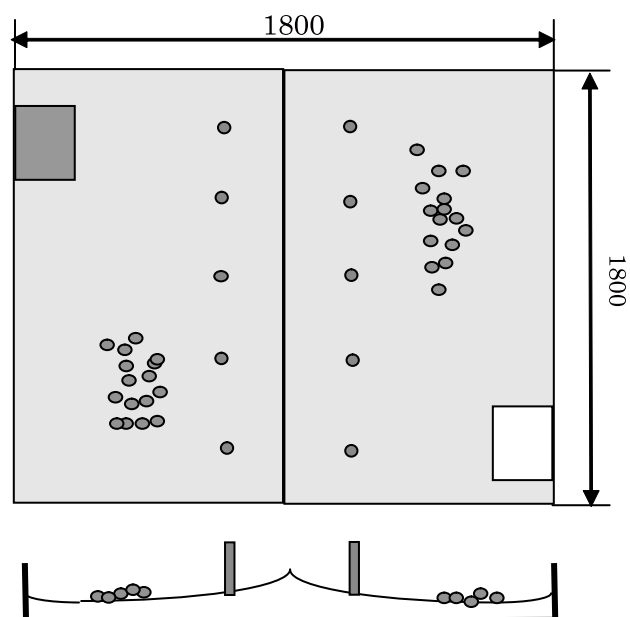


図 1 2002 年度競技場

込むことも可能である。

#### ルール

- ・ 競技は 3 分間。時間内に自陣のピンポン球の数をより減らした方が勝者となる。ロボットが体内にピンポン球を保持している場合、そのピンポン球の数はロボットが位置するゾーンの数に加算される。
- ・ 同数の場合そのまま延長し、どちらかが数を減らした時点で終了とする。
- ・ 3 分以内であっても、どちらかのゾーンのピンポン球が全て無くなった時点で試合は終了となる。
- ・ ピンポン球を故意に競技場の外へ出してはいけない。
- ・ 敵ロボットを破壊する攻撃は禁止する。

#### ロボットの寸法と支給部品

- ・ ロボットの寸法：スタート時に A 4 サイズ（210 × 296mm）の底面でつくられる直方体の中に収まること。高さは 1000mm 以内でなければならない。
- ・ 駆動系部品：モーター 4 個（+ 1 可能）、エアーシリンダー 2 本。
- ・ 制御用部品：リモートコントローラー（有線 4ch）
- ・ 構造用材料：アルミ板、アルミアングル材、木材、ゴム材等を支給する。支給された材料以外のものを使ってはならない。

表 1 創造工学演習テーマ一覧

番号	年度	テーマ	コンテスト概要
1	1992	空白の横綱を目指せ. アイデア相撲ロボット	相撲ロボットの格闘戦. 土俵の中で力比べ, 技比べ.
2	1993	地球を救え! クリーン大作戦ロボット	フィールドに置かれたペットボトルや空き缶を分別し収集した数を競う.
3	1994	ロボットだって美しくなりたい	人型ロボットの美しさを競う.
4	1995	大将不在時代に競う 「我こそはお山の大将」ロボット	テニスボールを保持したまま, フィールドに設けられた山の頂上に至る時間を競う.
5	1996	量と質, 両立めざす欲張りロボット	2 色のピンポン球 100 個から白色球を選別し, 高さ 300mm のタワーに運び込む数を競う.
6	1997	人生山あり谷あり障害物克服ロボット	ロボットが壁, 石ころの道, 丸太橋がかかった深い谷, 階段の山道を登る時間を競う.
7	1998	日はまだ昇る 「高さ」に挑む積み上げロボット	ビデオカセット, ティッシュペーパー箱, テニスボール缶を積み上げ, その高さを競う.
8	1999	「ピンチこそチャンス」 ビル・ゲイツに続け, 誰が兆万長者	フィールド中央部の窪地に置かれたピンポン球 200 個を富に見立ててかき集める.
9	2000	口は災いの元. 口を閉じて狙え人気回復	競技場の中央部に 5 つのボールを入れる口があり, この口にボールを投入してビンゴゲームを行う.
10	2001	不透明の時こそ飛躍のチャンス. 収穫マシンで飛躍の種子を集めよう	競技場に置かれた球状の種子を集めて収穫籠に多く速く運ぶことを競う.
11	2002	何もいらない. 許されるなら何もない空間が欲しい. 追い出し大作戦ロボット	自分の陣地に 50 個, 敵の陣地に 50 個置かれているピンポン球を時間内に敵の陣地へ送り込む数を競う.
12	2003	持続可能社会がこれからの夢木と紙で作るリサイクル大作戦ロボット	木と紙だけを使いロボットを製作する. 競技内容としては, 3 つの色の球を分別して集め, 指定の場所へ運ぶ.
13	2004	ロボットだって美しくなりたいⅡ ロボット表情コンテスト	ロボットを使い, 喜びや悲しみを表現する.
14	2005	階級社会自由往来ロボット	ピンポン球を富, 階段を階級に見立て, 階段の最上部にある筒状の形をした入れ物に, ピンポン玉を集める.
15	2006	勝ち組負け組み再挑戦ロボット	3 × 3 列に並んだ筒にボールを入れてビンゴゲームを行う.
16	2007	物質文明終焉身の回り整理ロボット	自分に 50 個置かれているピンポン球を「もの」に見立て, 時間内に自陣から排除する.
17	2008	ロボテニス	ロボットによる 1 対 1 のテニス.

以上が2002年度のルールである。加工に用いる電動工具は卓上バンドソー、卓上ボール盤のみであり、あとはハンドドリル、金切りバサミなどのハンドツールを用いて加工を行う。以下に、これより課題の共通点を抽出したものを示す。

#### 競技と競技場

- ・ 競技場の大きさは1800×1800mm程度とする。2002年度における競技場は、中央からコート端部にかけて傾斜しているが、年度によっては水平の場合もある。
- ・ 競技ターゲットにはピンポン球大の球を用いる。
- ・ 競技時間は3分でトーナメント戦とする。

#### ロボットの寸法と配布材料

- ・ ロボットの寸法はA4サイズ(210×296×1000mm)を上限とする。
- ・ 配布材料は、アルミ板・棒などの素材であり、市販のロボット製作部品は用いない。また支給材以外の使用は禁止する。

以上の基本設定に基づき競技ルールを決定している。参考までに、2005年度の競技場(図2)とルールを以下に示す。

#### 2005年度のルール

まず、競技場から説明しよう。競技場の広さは1800×1800mmで、高さが3段階に分かれ、それぞれA、B、Cゾーンと呼ぶことにする。AとBの高さの差は40mm、BとCの高さの差は20mmである。スタート時には、Bゾーンに黄色と白色の2種類のピンポン球が置かれており、ロボットはCゾーンからのスタートとなる。ロボットはピンポン球を集めて、上流階級のAゾーンを目指す。ただし、赤ゾーンから出発したマシンは黄色い球が自分の富になる。一方青色から出発したマシンは、白色が自分の富となる。上流階級の奥にピンポン球を入れる透明の筒がある。この筒の中に富を蓄えてもらう。ただし、筒の長さは異なっており、1個用から4個用まで4種類がある。この筒にピンポン球を蓄えてもらうが、一番上に来たボール

の色が下の球を支配することができる。例えば一番上に来た球が黄色の場合、その下の球もすべて黄色と見なされ赤ゾーンの富に変わる。

#### 2.2 授業スケジュール

表2に本科目の授業スケジュールを示す。第1回目は授業のガイダンスを行い、さらに、40人のクラスを2人一組・20チームに分けた後、ロボットコンテストのテーマを発表し、配布した材料・工具を元にしてアイディア出しを行わせる。そのアイディアは第2回の授業開始時までにアイディア提案書にまとめて教員に提出させる。提案書の書式は自由書式であり、項目としては「ロボットの構造を、モーター、シリンダなどのレイアウトがわかるようにスケッチにより説明する」というものと、「ロボットのコンセプト」について問うものの2種類である。本提案書は、学生が完成形を決めずに作業に入ることを防止することを目的として設けている。以後第3回から13回までは時間中全てを使ってロボットの製作を行う。その途中、第5回と第13回(これは年度により多少前後する)には、学生にタイムスケジュールを意識させるために中間審査を行い、進捗を記録・確認している。第14回にはロボッ

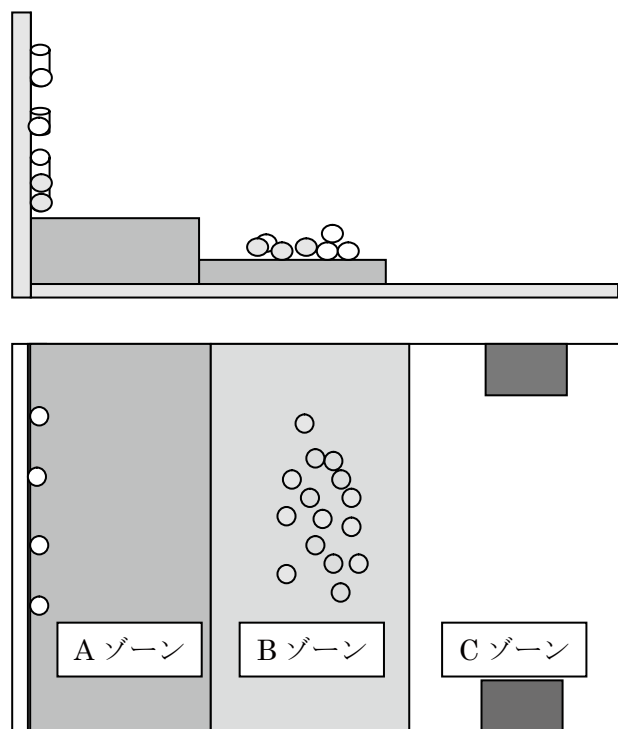


図2 2005年度競技場

トコンテストを行い、第15回にはまとめを行っている。授業時間内のスケジュールは以上であるが、時間内に完成できない学生のために、最後の1週間は居残り作業が可能な環境を整えている。

表2 授業スケジュール

回数	演習内容
1	ガイダンス、テーマ発表、チーム分け、材料、工具配布、アイデア発想
2	アイデアシート提出
3-13	製作（第5、9回に中間審査〔写真撮影〕）
14	ロボットコンテスト
15	授業アンケート、まとめ

### 3. 他の教育カリキュラムとの関連と波及効果

#### 3.1 創造工学演習導入の経緯

実践的技術教育を標榜する高専は開学以来実験実習に多くの時間を割り振ってきた。実習工場で行われる工作実習の変遷を表3に示す。1992年以前は図中の期間Ⅰに示されるように、1年生から3年生まで3年間で合計9単位の授業を行ってきた。しかし、このカリキュラム内で行ってきた内容では各種の工作機械を用いた部品製作に主眼が置かれて来た。すなわち、旧カリキュラムの科目では与えられた製作図面に対し、それが要求する部品作りができる事。さらに、作業に用いる工作機械の操作に習熟することが目的とされていた。しかし、高専卒業生に求められる能力は、高度化・複雑化という機械システムの成長に伴って変化し、新しい機械システムを自らが考案し、チームで作り上げていく能力へと変化してきた。

表3 創造工学演習の導入

期間		I	Ⅱ 1992～	Ⅲ 2005～
1年		工作実習 (3単位)	工作実習 (3単位)	
2年		工作実習 (3単位)	工作実習 (3単位)	工作実習 (4単位)
3年	前期	工作実習 (3単位)	創造工学 演習Ⅰ	創造工学 演習Ⅰ
	後期		創造工学 演習Ⅱ	創造工学 演習Ⅱ

これらの変化に対応するために、1992年度より表3の期間Ⅱに示すような改革が行われた。この改革の主な考え方は以下のとおりである。

- ・ 創造工学演習Ⅰ：既存の図面をもとにした部品作りばかりでなく、自らが設計した機械システムを部品作りから始めて完成させる。具体的課題としては、変速機を取り上げており、これは2年時の設計製図における課題、「軸」と「歯車」と連携している。
- ・ 創造工学演習Ⅱ：まず、問題が与えられ、それを解決するためのアイデアの考案とその実現のための機械システムを作り上げる。さらに、性能評価はコンテスト形式で行う。

#### 3.2 他の創成科目への展開

創造工学演習は1992年より17年に渡り実施されてきた歴史を持つ。その意図は、加工や製図など、機械を設計・製造する技術単体を学ぶことを目的とするのではなく、ものづくりを目的として設計・製造技術を運用することを通じて座学で学ぶことの重要性を知ること、さらには自らのアイデアを形にすることの困難さを体験し、社会において有用な人材を育成するための動機付けをすることであったことは前節において述べた。しかしながら、20年近い年月を経て、その様な目的に対し、本授業だけでは対応しきれない面があるのもまた事実である。その主な理由としては、社会環境の変化があげられる。例えば、創造工学演習を立ち上げた1992年には、現在ロボットの代名詞

として扱われている ASIMO や AIBO はまだ発表されておらず、1988 年に第 1 回が開催された高専ロボコンも 4 回目を迎えようという時期であった。一方近年ではロボットはメディアを通じて身近なものとなっており、自動車や家電など、ほとんどの製品にコンピュータが組み込まれてロボット化されているというのが実情であり、機械技術者といえども電気電子・情報技術と無縁ではいられない社会環境に変化している。

一方で、レゴ・マインドストームの普及や、マイコン製品を教育で利用できる環境が整ってきている。そのような背景の下、機械の製作を主眼としてきた創造工学演習の不足を補うという目的で、C 言語応用と知能機械演習というふたつの創成科目を 2005 年に立ち上げている。以下にその概要と、創造工学演習との関連を述べる。

#### C 言語応用

本科目は、機械工学科 3 年次前期に開講されている。授業の内容は、自律型ロボットを製作し、競技を行うという、創造工学演習・後述の知能機械演習と類似したものとなっているが、その目的は、プログラムによる機械の制御を体験することにより、2 年次に学ぶ C 言語の基礎と機械工学との関連を学ぶことであり、プログラムの学習に主眼を置く科目として設定されている。そこで、モータユニット、センサユニット、C 言語を用いたプログラムができるコンピュータユニットなどを含むレゴ・マインドストームという製品を用いることにより、機体・回路製作の負担を軽減している。課題としては、2005 年から 2006 年までの 2 年間はライントレースロボット、2007 年からはサッカーロボット<sup>4, 5)</sup>の製作を課している。

#### 知能機械演習<sup>6)</sup>

本科目では、C 言語応用で学んだロボットプログラミング、創造工学演習で学んだロボット作りの技術を融合し、そこにさらに電子回路製作の知識を加えることにより、自律型ロボットを製作する。課題としては、2005 年より一貫してライントレースロボットの製作を課している。本科目の特徴としては、ひとチーム 4 人の中で機械・電子回路・プログラムの分業制をしいているところであり、PBL 科目において学習が期待される「協調性」・「コミュニケー

ション能力」の育成に力を入れている点にある。

### 4. アンケート結果

#### 4.1 全学の授業アンケートから見た満足度

全学年・全授業を対象として実施しているアンケートの結果について述べる。本アンケートは、「目標を理解しているか」、「予習復習を積極的に行ったか」など 18 の項目からなるが、本節ではそのうち、総合満足度に対する評価について、他科目との比較を行った。比較対象は、図 3 に示した「学校全体の授業」、機械工学科 4 年生を対象とした実習系科目である「機械工学実験 I」(図 4) と、同学科二年生を対象とした実習系科目である工作実習(図 5) とし、「学校全体の授業に対する満足度と、実習系科目に対する満足度の比較」と「実習系科目間で創造工学演習の満足度の高さの検討」を行った。データとしては、2003 年(破線)、2004 年(斜線)、2005 年(点描)のものをを用いた。図中の横軸に示した数値 1 から 4 は満足度を表すが、これらは質問「この授業には総合的に満足ですか?」に対する回答を表しており、1: 強くそう思う、2: ややそう思う、3: あまり思わない、4: まったく思わない、となっている。また、縦軸には回答者全数に対する各回答者数の比率をパーセンテージで表している。

まず、図 3 と図 4～6 の比較より、学校全体の満足度の平均値が 30% 程度であるのに対し、実習系科目の満足度は 50% を超えており、平均値よりも非常に大きいことが分かる。さらに、図 4、5 と図 6 の比較より、実習系科目の満足度が 50% 程度であるのに対し、創造工学演習の満足度は 70% 程度と、本科目は実習系科目の中でも学生から非常に高い評価を得ていることが分かる。

#### 4.2 個人アンケートに見る評価

授業の最終日に以下のような設問で記述回答式のアンケートを実施した。その内容と主な回答を以下に記す。



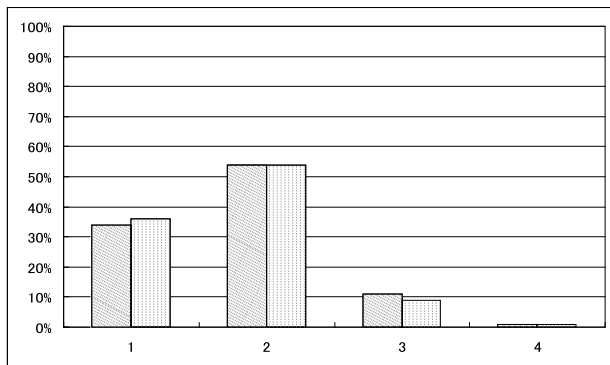


図4 学校全体の授業に対する満足度

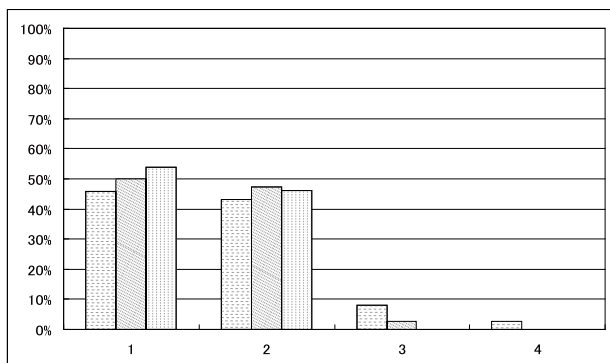


図5 機械工学実験Ⅰに対する満足度

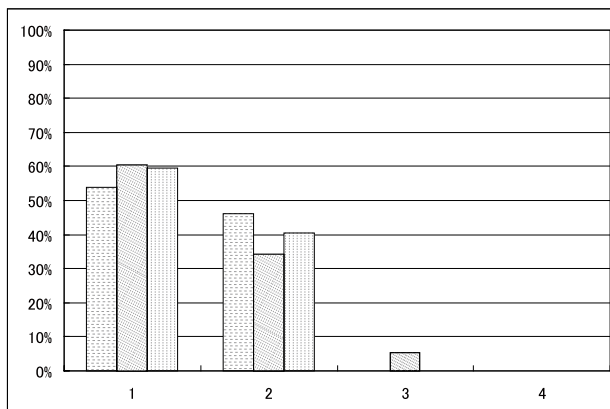


図6 工作実習Ⅱに対する満足度

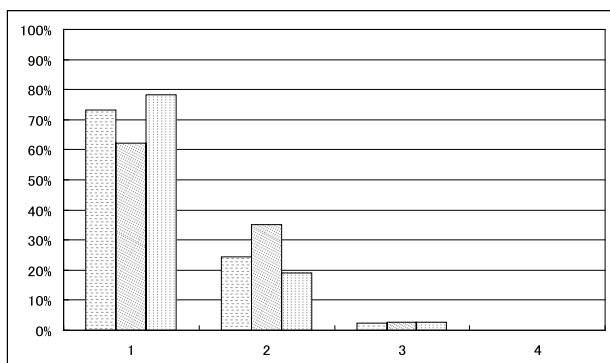


図7 創造工学演習に対する満足度

### 1. ロボット製作を通じてあなたが感じたことについて

- A) テーマは適切でしたか？
- B) 工作のための工具類は充分でしたか？
- C) 製作場所の環境は適切でしたか？
- D) 指導は適切でしたか？
- E) 競技場とその環境は適切でしたか？

上記の設問に対し、A), B) の設問に対しては、「適切であった」「十分であった」という回答が大半を占めていたが、「製作の時間が足りない」という意見もいくつか見られた。C) に対しては、「部屋が狭く、電動工具使用時に人が近くを通るのは不安である」との回答が見られた。よって、作業環境については改善の余地があると考えられる。また、D) の設問に対しては、「動力を適切に伝える方法をきちんと教えて欲しかった」などの、受動的な態度の回答が見られた。このことより、教員側の意図が学生に伝わっていないことも考えられるので、事前説明を充実させる必要があると感じられる。最後に、設問 E) に対しては、「適切であった」という回答が大半であったが、一部に「電源やコンプレッサー環境の違いから、開発時と試合時の動作が異なった」という趣旨の回答が見られたことから、開発時より最終的な環境を想定した準備が必要であることが伺える。

### 2. ロボット製作を通じて、あなたが得たものは何ですか？

質問2に対する回答を大別すると、大きく3つに分割することが出来た。

ひとつは、教員が本授業で意図している、「座学とものづくりの関連性」、「自ら出したアイデアを形にすることの難しさ」を学ぶという点に関するものであり、「設計図面の大切さを知った」、「試作品をまず作って動かしてみる事が成功への近道」、「アイデアと現実のギャップ」などの回答があった。また、問題を解決していく過程に対するコメントについては、「ひとつの問題を解決すると、別の問題が発生する」、「問題が発生しても、あせらず考えればよい」などの回答が見られた。

第2には、「意欲がわいてきた」「やれば出来ると思った」

などの学習意欲全般の向上に関する回答が見られ、これより本科目が学生の意欲向上に貢献していることが伺える。

最後の分類は、「クラスの活発さが増した」など、人間関係の向上に関するものである。本授業のような、クラスメイトとの共同作業を必要とする授業を行うことにより、人間関係が向上させるような効果があることも伺うことが出来る。

## 5. まとめ

本報では、17年間の実績を持つPBL形式の実習事業である創造工学演習についてその内容とテーマをまとめ、その派生科目への影響、学生からの評価について述べた。本科目は、高専卒業生に求められる能力が、部品作りと工作機械の操作の習熟から高度化された機械システムを自ら考案し、チームで作り上げていく能力へ変化していく過程で導入された科目であり、近年になってもC言語応用や知能機械演習など他の創成科目立ち上げの基盤となっている。またその評価については、全学的なアンケートの比較において高い評価を得ていることを確認し、また授業個別のアンケートからも座学や実習科目の学習意欲の向上に貢献していることが読みとれることから、本科目は機械工学科で実施される科目中でハブ的な役割を果たしていることが解った。

なお、今後の検討課題としては安全性の確保が上げられるが、このためには教職員側のサポート体制および、場所・設備の更なる充実が必要と考えられる。

また、「時間が足りない」などの意見は、テーマ設定の妥当性もさりながら、他の科目との連携により解決していかなければならない問題でもあることから、立ち上げてから5年が立とうとしている他の創成科目との連携の評価も課題と考えられる、これについては他の科目の評価を精査した上で、考えていかなければならない問題だと考えられる。

## 参考文献

- 1) 任和子「McMaster大学におけるProblem Based Learning (PBL) と日本の看護教育への適用について」 京都大学医療技術短期大学部紀要 別冊 健康人間学 11:41-45, pp.

59-60 (1999) .

- 2) 伊藤通子, 本江哲行, 丁子哲治「高専教育へのPBL導入における可能性と課題 - デンマーク・オルボー大学の成功事例を踏まえて -」 高専教育, vol.31, pp. 283-288 (2008) .
- 3) Erik de Grassff and Anete Kolmos「Management of Change」 Sense Publishers (2006) .
- 4) 亀山建太郎・吉田敏實「自律サッカーロボット製作を通じた効率的なロボティクス教育カリキュラムの開発」 第一回科学技術におけるロボット教育シンポジウム 2008, Yokohama, Japan, July, pp. 59-60 (2008) .
- 5) K. Kameyama and T. Yoshida「Syllabus Planning for Learning Fundamental Skills in Robotics by Creating Soccer Robots」 1st International Symposium on Robotics in Science and Technology Education, Yokohama, Japan, Nov., pp. 53-56 (2008) .
- 6) 岡田正人, 村中貴幸, 北川浩和, 吉崎保夫, 米田知晃「機械・電気・情報分野を融合したPBL教育の実践とその効果」, 福井工業高等専門学校研究紀要 No.20, pp.9-16 (2007) .